

**CLIPPEDIMA E= JP410242584A**

**PAT-NO: JP410242584A**

**DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 10242584 A**

**TITLE: SEMICONDUCTOR LIGHT-EMITTING ELEMENT**

**PUBN-DATE: September 11, 1998**

**INVENTOR-INFORMATION:**

**NAME**

**GOTO, JUN**

**KAWADA, MASAHIKO**

**AKAMATSU, SHOICHI**

**MINAGAWA, SHIGEKAZU**

**ASSIGNEE-INFORMATION:**

**NAME**

**HITACHI LTD**

**COUNTRY**

**N/A**

**APPL-NO: JP09045232**

**APPL-DATE: February 28, 1997**

**INT-CL\_(IPC): H01S003/18; H01L033/00**

**ABSTRACT:**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a vertical resonator type surface light-emitting laser element with a gallium nitride semiconductor by manufacturing a vertical resonator type surface light-emitting laser diode using a gallium nitride compound semiconductor, on a substrate comprising group IV element.

**SOLUTION:** On an n-type (001) silicon substrate 10, layers from an amorphous GaN

buffer layer 11 to a p-type Mg doped GaN layer 16 are continuously grown. After growth, an  $\text{SiO}_2$  film is deposited, a column is formed. Then, an undoped GaN layer 17 is grown. After the  $\text{SiO}_2$  film is removed, a p-type Mg doped GaN layer 18 is grown. Then a multi-layer reflecting film 19 is deposited, and formed into circular shape by fitting to the column. An

electrode 20 is vapor-deposited thereon. Then an electrode 21 is vapor-deposited on a substrate side thereof, and the electrode and

*index guide*

th substrat are r m ved by fitting to th olumn, t form a h l r aching th  
GaN lay r. Th n a multi-lay r r fl cting film 22 is d p sit d, and th  
multi-lay r film th r than the hol part is r m v d, and ann aling pr ss is  
p rf rmed, and th n ach el m nt is s parat d t c mpl te a las r di d chip.

**COPYRIGHT: (C)1998,JPO**

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平10-242584

(43)公開日 平成10年(1998) 9月11日

(51)Int.Cl.<sup>8</sup>

識別記号

F I

H 0 1 S 3/18

H 0 1 S 3/18

H 0 1 L 33/00

H 0 1 L 33/00

C

審査請求 未請求 請求項の数4 O L (全 5 頁)

(21)出願番号 特願平9-45232  
 (22)出願日 平成9年(1997) 2月28日

(71)出願人 000005108  
 株式会社日立製作所  
 東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地  
 (72)発明者 後藤 順  
 東京都国分寺市東壱ヶ窪一丁目280番地  
 株式会社日立製作所中央研究所内  
 (72)発明者 河田 雅彦  
 東京都国分寺市東壱ヶ窪一丁目280番地  
 株式会社日立製作所中央研究所内  
 (72)発明者 赤松 正一  
 東京都国分寺市東壱ヶ窪一丁目280番地  
 株式会社日立製作所中央研究所内  
 (74)代理人 弁理士 小川 勝男

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 半導体発光素子

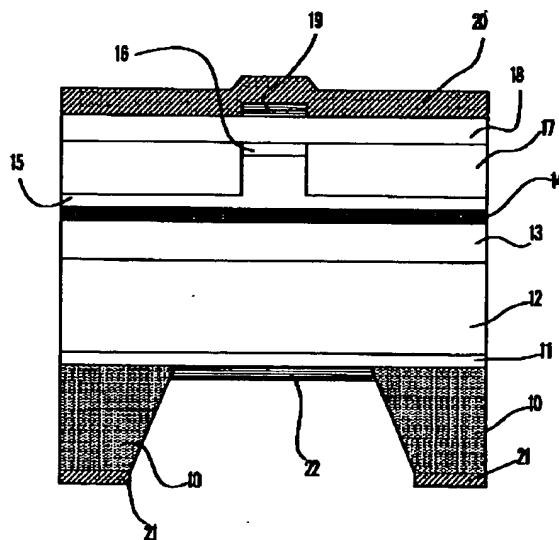
## (57)【要約】

【課題】 窒化ガリウム系化合物半導体の成長には一般的にサファイア基板が用いられているが、エッチングがほとんど不可能な為、垂直共振器型面発光レーザを作製する場合、反射膜を形成するのが困難である。

【解決手段】 窒化ガリウム系化合物半導体をシリコン基板上に成長する事により、基板をエッチングにより除去する事が可能となり、誘電体多層反射膜を形成する事が可能なる。

【効果】 本発明のレーザ素子は結晶成長後に反射膜を形成出来る為、容易に且つ効率良く窒化ガリウム系化合物半導体を用いた垂直共振器型レーザダイオードを形成する事が可能となり、その産業上の利用価値は非常に大きい。

図 1



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】IV族元素からなり且つ立方晶系の結晶構造を有する基板上に窒化ガリウム系の化合物半導体からなる半導体領域を形成したことを特徴とする半導体発光素子。

【請求項2】上記半導体領域は、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x-y}\text{In}_y\text{N}$  ( $0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1, 0 \leq x+y \leq 1$ ) 混晶からなる半導体層を含むことを特徴とする請求項1に記載の半導体発光素子。

【請求項3】上記半導体領域は、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x-y}\text{In}_y\text{N}_{1-z}\text{As}_z$  ( $0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1, 0 \leq z \leq 1, 0 \leq x+y \leq 1$ ) 混晶からなる半導体層を含むことを特徴とする請求項1又は請求項2に記載の半導体発光素子。

【請求項4】上記半導体領域は複数の半導体層を積層してなり、且つ上記半導体発光素子は該半導体層の積層方向にファブリ・ペロ型共振器構造が形成されていることを特徴とする請求項1乃至3のいずれかに記載の半導体発光素子。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、半導体発光素子のうち、可視から紫外光領域に対応する窒化ガリウム系化合物半導体 ( $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x-y}\text{In}_y\text{N}_{1-z}\text{As}_z$  ( $0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1, 0 \leq z \leq 1, 0 \leq x+y \leq 1$ )) よりなる半導体発光素子に関し、特に半導体層の積層方向に光を放射する所謂面発光型の発光素子に係る。

## 【0002】

【従来の技術】デジタルビデオディスクに代表される光ディスクの大容量化に向けて、半導体レーザの青色から近紫外領域への短波長化が求められている。また、青や緑の半導体レーザや高出力発光ダイオードが実現すると従来の赤色発光素子と合わせて光の三原色が揃うことから、レーザテレビジョンや照明用光源への応用も考えられている。これら緑色もしくは青色の光を発するレーザダイオード等の短波長発光素子の研究開発は、現在精力的に行われている。窒化ガリウム系化合物半導体では、長寿命・高輝度の青色光 ( $\sim 2.6\text{eV}$ ) 及び緑色光 ( $\sim 2.4\text{eV}$ ) の発光ダイオードが既に実用化され、さらにジャパニーズ・ジャーナル・オブ・アプライド・フィジクス誌第35巻 (1996年) L74頁からの記載 (Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 35 (1996) ppl74) に示されているように青紫色レーザダイオード ( $\sim 3.0\text{eV}$ ) の室温パルス発振が達成され、室温連続発振に至る勢いである。現在開発の進められている窒化ガリウム系化合物半導体レーザは、サファイア基板上に成長されており、劈開またはドライエッチングによりファブリ・ペロ型共振器ミラーが形成されているストライプ状の導波路を有する (ストライプ形の) レーザである。

## 【0003】

【発明が解決しようとする課題】近年、光ディスク用のコンパクト光源や光インターコネクトを目的とした赤か

ら赤外領域での垂直共振器形面発光半導体レーザ (VCSEL: Vertical Cavity Surface Emitting Laser) の研究が盛んに行われている。このレーザ構造では共振器を基板と垂直方向に形成する為に、一般的に誘電体または半導体からなる多層反射膜を発光領域を形成する半導体層の表と裏に直接又は他の半導体層を介して形成する。

【0004】現在提案されている窒化ガリウム系化合物半導体を用いたVCSELは、例えば特開平7-335975号公報に示されているように結晶成長時にAlGaN半導体多層反射膜を形成する構造である。しかしながら、この構造では高品質且つ精度の高い多層構造を形成する必要があり、非常に困難である。

【0005】一方、誘電体反射膜を形成する場合は結晶成長後に反射膜を蒸着等により形成する。この方法では表面反射膜は半導体に直接形成し、裏面反射膜はエッチングにより基板を除去して反射膜を形成する。しかしながら、一般的に窒化ガリウム系化合物半導体では基板に化学的、物理的に非常に安定なサファイアを用いている為に、エッチングにより基板を除去する事が非常に困難である。また、窒化ガリウム系化合物半導体の成長温度は1000℃程度であるため、通常のVCSELで用いられているエッチングの容易なGaAsやInP基板は高温により分解してしまう為、用いる事は出来ない。

【0006】本発明は、このような事情を鑑み、耐熱性が有り且つ容易に制御良くエッチングが可能な成長基板を用いて、窒化ガリウム系化合物半導体により垂直共振器形面発光レーザ素子を実現する事にある。

## 【0007】

【課題を解決するための手段】本発明は、エッチングが容易で且つ1000℃程度で変質しないシリコンに代表されるIV族元素から成る基板上に窒化ガリウム系化合物半導体を用いた垂直共振器形面発光レーザダイオードを作製し、裏面反射膜は裏面の対応する部分にエッチングし、そこに誘電体反射膜を形成する事を特徴とする。

【0008】窒化ガリウム系化合物半導体、即ち、Al, Ga, In等のIII族元素とN, P, As等のV族元素からなるIII-V族化合物半導体のうち、構成元素として少なくともNを含む材料のうち、緑から紫外に至る波長領域を発光させるに好適な材料は、ウルツ鉱型の結晶構造を有する。そのため、これらの半導体層をエピタキシャル成長させるに当たって立方晶系の結晶構造を有する基板材料は適用できないものと考えられてきた。このため、従来の窒化ガリウム系化合物半導体素子からなる半導体装置 (発光ダイオードやレーザ・ダイオード等) は、サファイアを始め、SiCやZnOといった六方晶系 (ウルツ鉱型は六方晶系の一種) の結晶構造を有する基板材料上に形成されていた。即ち、エピタキシャル成長における基板と半導体層の格子どうしを少しでも整合させようとする配慮があったためである。しかしながら、サファイアを始め、これらの基板材料は化学的、

物理的に非常に安定であり、エッチングによる除去が非常に困難であるため、上述のようにエッチングで基板を除去した領域に誘電体反射膜を形成することは事実上不可能であった。

【0009】一方、本発明者はサファイア上に窒化ガリウム系の化合物半導体層を積層してなる半導体レーザ素子にて、従来の即ち閃亜鉛鋅型の結晶構造を持つIII-V族化合物半導体からなる発光素子と比較にならない程の欠陥密度が存在するのにレーザ発振が可能であることに着目した。即ち、従来 $10^3 \text{ cm}^{-2}$ 以上の欠陥が活性層や光導波路に存在するとレーザ発振は事実上不可能とされてきたのにも関わらず、窒化ガリウム系の化合物半導体からなる半導体レーザ素子においては活性層に光導波路に $10^{10} \text{ cm}^{-2}$ 以上程度の結晶欠陥があってもレーザ発振するのである。そこで、従来の考えとは逆に窒化ガリウム系の化合物半導体のエピタキシャル成長に不利な、即ち成長すべき半導体層と全く結晶構造の異なる（立方晶系の）結晶構造を有するシリコン基板を採用することを試みた。その結果、成長プロセスにおいてシリコン基板上に窒化ガリウム系化合物半導体層のアモルファス（非晶質）層を形成し、この層上に窒化ガリウム系化合物半導体を結晶成長させれば、発光ダイオードはもとよりレーザ・ダイオードをも形成できる結果を得た。

【0010】窒化ガリウム系化合物半導体の結晶成長は、上述のとおり1000℃近くの高温加熱を要するため、シリコン基板上に形成した非晶質層が結晶化することもある。非晶質層は、結晶化の過程において基板と格子整合が全く取れないために膨大な量の結晶欠陥を発生し、その上部に成長される窒化ガリウム系化合物半導体層にこれらの欠陥が延伸することでレーザ・ダイオードが実現できないと予想したものの、現実にはレーザ発振できたのである。

【0011】本発明者は、以上の発見に基づき、窒化ガリウム系化合物半導体からなる発光素子、特に当該半導体層の成長方向に光を放出する発光ダイオードや面発光型レーザ素子において基板材料として立方晶系の結晶構造を有するSi（ダイヤモンド構造）を始めとするC、Ge、Sbやこれらの元素を組み合わせる（SiGeのような）IV族元素の基板材料を利用することを着想した。

【0012】即ち、本発明はIV族元素からなり且つ立方晶系の結晶構造を有する基体上に窒化ガリウム系の化合物半導体からなる半導体領域を形成したことを特徴とする半導体発光素子を提供するものである。基体の定義は、例えばSi基板の場合、当該基板は勿論のこと、当該基板上に形成されるSiやSiGe等の半導体層も含む。当該半導体層の形成は、基板上におけるエピタキシャル成長でも、又は多結晶や非晶質として基板上に形成した後で結晶化させてもよい。基体は、窒化ガリウム系の化合物半導体が形成される部分において実質的に単

結晶であることが望ましいが、若干の結晶欠陥は許容されるものでもある。また、基体にはドーパントとしてIV族元素以外の元素を含めてもよい。

【0013】本発明による半導体発光素子の限定された実施態様として、上記半導体領域は、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x-y}\text{In}_y\text{N}$  ( $0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1, 0 \leq x+y \leq 1$ ) 混晶からなる半導体層、又は $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x-y}\text{In}_y\text{N}_{1-z}\text{As}_z$  ( $0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1, 0 \leq z \leq 1, 0 \leq x+y \leq 1$ ) 混晶からなる半導体層を含めるとよく、更にこれらの混晶組成を変えて複数層複数の半導体結晶層を積層し、発光に係るキャリア再結合条件を最適化することが推奨される。なお、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x-y}\text{In}_y\text{N}_{1-z}\text{As}_z$  混晶におけるV族元素の更に望ましい設定例として、 $0 \leq z < 1$ とすることを推奨する。

【0014】本発明による半導体発光素子の限定された別の実施態様として、上記半導体領域を複数の半導体層を積層して半導体発光素子を形成する場合、当該半導体層の積層方向にファブリ・ペロー型の共振器構造を形成して、所謂垂直共振器形面発光半導体レーザ（VCSEL）を構成することができる。ファブリ・ペロー型共振器の対向し合う反射鏡は、上記半導体領域中に屈折率の異なる半導体層を交互に積層して形成しても、半導体領域上面又は下面に誘電体反射膜を形成しても、又は半導体層の積層構造（前者）と誘電体反射膜（後者）を組み合わせてもよい。特に後者において（半導体領域下面に誘電体膜を形成する場合）、本発明の基体を採用することで半導体領域下面に接合する当該基体を除去しやすくなる。

【0015】なお、以上の本発明に関する概要説明において、窒化ガリウム系化合物半導体は、Al、Ga、In等のIII族元素とN、P、As等のV族元素からなるIII-V族化合物半導体で構成元素として少なくともNを含む材料を定義する。また、半導体領域は、実質的に単結晶の半導体層として形成されることが望ましいが、上記基体と半導体領域との接合界面において、半導体領域は非晶質又は多結晶の半導体層が形成されていても、又は欠陥を含む単結晶層であっても本発明の実施を阻むものでない。

【0016】

【発明の実施の形態】以下、実施例1及び2と関連図面を参照して、本発明の望ましき実施の態様を説明する。

【0017】＜実施例1＞本実施例では、活性層にGaInN-GaN超格子、基体としてシリコン基板を用いて青色の光を発する垂直共振器型面発光レーザを作製した。

【0018】図1に構造断面図を示す。図1において、10はn型(111)シリコン基板 ( $n=5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ,  $d=100 \mu\text{m}$ )、11はアモルファスGaNバッファ層 ( $d=20 \text{ nm}$ )、12はn型SiドーパGaNバッファ層 ( $n=1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ,  $d=3 \mu\text{m}$ )、13はn型Siドーパ $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ クラッド層 ( $n=1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ,  $d=0.5 \mu\text{m}$ )、14はノンドープ $\text{In}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{N}$ -GaN歪量子井戸活性層(各膜厚5nm, 5周期)、15はp型MgドーパAl

5

0.1Ga<sub>9</sub>,9Nクラッド層 ( $p=5\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ ,  $d=0.5\mu\text{m}$ )、16はp型MgドーパGaNキャップ層 ( $p=2\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ ,  $d=0.2\mu\text{m}$ )である。上記11から16までの層は、有機金属気相成長装置を用いて基板結晶10の上に連続成長した。原料にはTMAl(トリメチルアルミニウム)、TMGa(トリメチルガリウム)、TMIn(トリメチルインジウム)、NH<sub>3</sub>、SiH<sub>4</sub>及びCp<sub>2</sub>Mg(シクロペンタジエニルマグネシウム)を用いた。成長温度は、アモルファスGaNバッファ11は550℃、InGaN-GaN歪量子井戸活性層15は850℃、その他の層は1050℃とした。

【0019】成長後、図1に示す様に常法を用いて厚さ100nmのSiO<sub>2</sub>膜を堆積し、通常のリソグラフィ技術により直径7μmの円形マスクを形成して、ハロゲン系反応性イオンビームエッチング法を用いて高さ0.4μmの円柱を形成した。次に有機金属気相成長法によりノンドープGaN層 ( $n=1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ,  $d=0.4 \mu\text{m}$ ) 17を成長した。

SiO<sub>2</sub>膜を除去した後、p型MgドープGaN層 ( $n=1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ,  $d=0.5 \mu\text{m}$ ) 18を成長した。次にその上に電子線蒸着法によりSiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>からなる反射率99%の多層反射膜19を堆積し、通常のフォトリソグラフィ技術と溶液エッチングにより先程の円柱に中心を合わせ直径10  $\mu\text{m}$ の円形に形成した。この上にAu/Pt/Ti/Ni電極20を蒸着した。

【0020】次に、裏面のシリコン基板側に電極21を蒸着し、通常のリソグラフィ技術と溶液エッチングにより先程の円柱に中心を合わせ、電極およびシリコン基板を除去しGaNバッファ層に達する直径30 $\mu$ mの孔を形成した。次にその上に電子線蒸着法によりSiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>からなる反射率90%の多層反射膜22を堆積し、通常のリソグラフィ技術とフッ酸系溶液エッチングにより、孔の部分以外の多層膜を除去した。窒素雰囲気中にて600℃で30分間アニーリング処理をした後、各素子を分離し、レーザダイオード・チップを完成させた。

【0021】室温において、p型側をヒートシンク固定したレーザダイオードに2mAの定電流を流したところ、青色の440nmでレーザ発振した。

【0022】＜実施例2＞本実施例では、活性層にGaNA s-GaN超格子、シリコン基板を用いて緑色の光を発する垂直共振器型面発光レーザを作製した。

【0023】図1に構造断面図を示す。図1において、10はn型(111)シリコン基板 ( $n=5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ,  $d=100 \mu\text{m}$ )、11はアモルファスGa<sub>0.9</sub>Nバッファ層 ( $d=20 \text{ nm}$ )、12はn型SiドープGa<sub>0.9</sub>Nバッファ層 ( $n=1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ,  $d=3 \mu\text{m}$ )、13はn型SiドープAl<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nクラッド層 ( $n=1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ,  $d=1 \mu\text{m}$ )、23はノンドープGa<sub>0.94</sub>As<sub>0.06</sub>-Ga<sub>0.5</sub>N歪量子井戸活性層(各膜厚5nm, 5周期)、15はp型MgドープAl

6

0.1Ga<sub>0.9</sub>Nクラッド層 ( $p=5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ,  $d=1 \mu\text{m}$ )、16はp型MgドーパGaNキャップ層 ( $p=2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ,  $d=0.2 \mu\text{m}$ )である。上記11から16, 22までの層は、有機金属気相成長装置を用いて基板結晶10の上に連続成長した。原料にはTMAl(トリメチルアルミニウム)、TMGa(トリメチルガリウム)、TMIn(トリメチルインジウム)、NH<sub>3</sub>、AsH<sub>3</sub>、SiH<sub>4</sub>及びCp<sub>2</sub>Mg(シクロペンタジエニルマグネシウム)を用いた。成長温度は、アモルファスGaNバッファ11は550°C、GaAs-GaN歪量子井戸活性層23は800°C、その他の層は1050°Cとした。

【0024】以上の結晶成長の後、実施例1と同様の工程を経て、レーザダイオード・チップを完成させた。

【0025】室温において、p型側をヒートシンク固定したレーザダイオードに2mAの定電流を流したところ、緑色の540nmでレーザ発振した。

【0026】

【発明の効果】以上説明したように、本発明のレーザ素子は結晶成長後に反射膜を形成出来る為、容易に且つ効率良く窒化ガリウム系化合物半導体を用いた垂直共振器型レーザダイオードを形成する事が可能となり、その産業上の利用価値は非常に大きい。

【0027】また、基本材料としてSi基板を用いることにより、面発光型のレーザ・ダイオードや発光ダイオードに限らず、端面発光型（半導体層の成長方向に垂直に光を輻射する構造）の発光素子においても、シリコンデバイスとのハイブリッド化が可能となる。このため、窒化ガリウム系化合物半導体からなる発光素子においても発光素子モジュールが実現される。

【図面の簡単な説明】

【図1】実施例1に示した垂直共振器型半導体レーザの断面図。

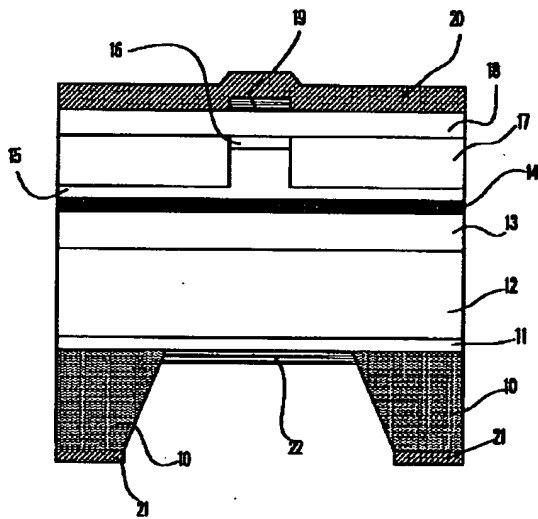
【図2】実施例2に示した垂直共振器型半導体レーザの断面俯瞰図。

【符号の説明】

1 0...n型(111)シリコン基板、1 1...アモルファスGaN  
バッファ層、1 2...n型SiドープGaNバッファ層、1 3...  
n型SiドープAl<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nクラッド層、1 4...ノンドープ  
In<sub>0.25</sub>Ga<sub>0.75</sub>N-GaN歪量子井戸活性層、1 5...p型Mgド  
ープAl<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nクラッド層、1 6...p型MgドープGaNキャ  
ップ層、1 7...ノンドープGaN層、1 8...p型MgドープGa  
N層、1 9...SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>多層反射膜、2 0...Au/Pt/Ti/Ni  
電極、2 1...Au/Pt/Ti/Al、2 2...SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>多層反射  
膜、2 3...ノンドープGaNo.94As0.06-GaN歪量子井戸活  
性層。

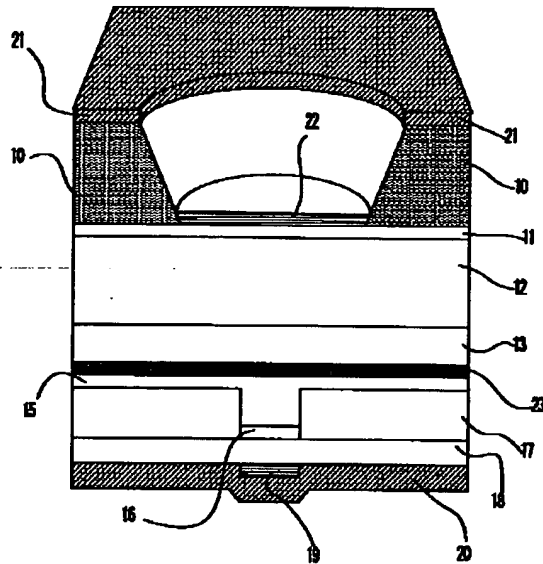
【図1】

図1



【図2】

図2



フロントページの続き

(72)発明者 皆川 重量  
東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地  
株式会社日立製作所中央研究所内